

Wrocław, dnia 23 marca 2026

Prof. dr hab. Tadeusz K. Kopeć

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

Recenzja rozprawy habilitacyjnej i całokształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Aliny Mreńca-Kolasińskiej

Z przedłożonej dokumentacji wynika, że spełnione są wszystkie wymagania formalne nie-zbędne do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, wynikające z Art.219 ust. 1 pkt 2 Ust. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z 20.07.2018 Dz.U.2018 poz.1668 z późn.zm. Poniższa recenzja obejmuje trzy najważniejsze elementy składające się na jej dorobek, to jest:

- 1) osiągnięcie naukowe będące przedmiotem postępowania habilitacyjnego,
- 2) pozostałe osiągnięcia naukowe,
- 3) dorobek dydaktyczny i organizacyjny.

Wykształcenie i kariera zawodowa Habilitantki

Doktor nauk fizycznych 2017

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Tytuł pracy: Simulations of quantum transport in graphene systems with n-p junctions

Promotor: prof. dr hab. inż. Bartłomiej Szafran (AGH)

Magister inżynier

fizyki technicznej 2013

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Tytuł pracy: Kompleksy ekscytonowe w kropkach kwantowych z zewnętrznym polem

elektrycznym

Promotor: prof. dr hab. inż. Bartłomiej Szafran (AGH)

1.x 2018 - 30.ix 2019 Asystent badawczo-dydaktyczny,

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

1.x 2017 - 30.ix 2018 Asystent badawczy,

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

od 1.x 2019 Adiunkt,

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

1.x 2020 - 30.vi 2022 Pracownik naukowy (ang. Research fellow),

Department of Physics,

National Cheng Kung University, Tainan, Tajwan

Ocena osiągnięcia naukowego będącego przedmiotem postępowania habilitacyjnego dr inż. Aliny Mreńca-Kolasińskiej

Tytuł cyklu habilitacyjnego

Manipulacja ładunkiem, spinem i doliną w nanostrukturach na bazie grafenu.

Cel naukowy Wraz z rozwojem metod fabrykacji rośnie złożoność obserwowanych eksperymentalnie zjawisk. W próbkach o bardzo dobrej jakości – osiągalnej np. w układach na bazie grafenu pomiędzy warstwami hBN – w niskich temperaturach staje się możliwe zaobserwowanie zjawisk interferencyjnych, które są możliwe do opisanie w ramach transportu kwantowego. Coraz częściej niezbędne w prawidłowej interpretacji wyników staje się numeryczne modelowanie zjawisk kwantowomechanicznych, w tym

transportowych. Postęp fabrykacji otwiera zatem możliwości kontroli ładunku, spinu i doliny, lecz kluczowe do prawidłowego zrozumienia podstaw działania tych układów (elektronicznych) jest wystarczająco dokładne modelowanie zaobserwowanych zjawisk.

W szczególności, w zakresie kontroli ładunku, spinu i doliny, praca habilitantki w ostatnich latach miała na celu

- Zbadanie sposobów kontroli dynamiki nośników ładunku za pomocą zewnętrznych potencjałów elektrostatycznych, pól magnetycznych, składanie warstw grafenu czy inżynierii struktury pasmowej poprzez wprowadzenie periodycznych potencjałów.
- Zaproponowanie metod kontroli stanów spinowych w układach na bazie grafenu i TMD.
- Zbadanie możliwości kontroli stanów dolinowych poprzez wprowadzanie kontrolowanych odkształceń sieci grafenu.

Metody badawcze zastosowane przez Habilitantkę

techniki teoretycznego opisu jednoelektronowego transportu

kwantowego. Układ opisany w formalizmie ciasnego wiązania. We wszystkich pracach należących do cyklu transport modelowany jest w temperaturze 0 K, co stanowi dobre przybliżenie dla pomiarów prowadzonych w temperaturach bliskich zeru bezwzględnemu. rozwiązania równania Poissona dla układów kontrolowanych przez bramki elektrostatyczne. Pozwalało to na dokładne modelowanie profilu energii potencjalnej w układzie, szczególnie w przypadku prac powiązanych z eksperymentem. Ponadto zastosowano szereg metod analitycznych do wyjaśnienia modelowanych procesów fizycznych.

Omówienie prac wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego

Cykl prac [H1]–[H6] przedstawia rezultaty wieloletnich badań teoretycznych i eksperymentalno-teoretycznych nad kontrolą ładunków, a także spinowego i dolinowego stopnia swobody w grafenie. Najważniejsze wyniki tych prac to w szczególności:

- Zaproponowanie układów na bazie grafenu na podłożu TMD działających jako filtry spinowe oparte na łamaniu degeneracji dolinowej.
- Zbadanie własności transportowych układów na bazie skrzyżowanych względem siebie warstw grafenu i odpowiedzi na bramki elektrostatyczne. Skrzyżowane pod dużym kątem warstwy są elektronicznie rozłączne, a odpowiednio dobrane napięcia pozwalają na uzyskanie różnych konfiguracji ładunkowych (np. złącz unipolarnych lub bipolarnych). Pozwala to na równoczesną kontrolę przepływu ładunku w wielu warstwach.

- *Teoretyczne zbadanie metod elektrostatycznej kontroli trajektorii nośników ładunku poprzez wytworzenie kanałów analogicznych do falowodów lub przez inżynierię przerwy energetycznej w dwuwarstwowym grafenie, a także modyfikację trajektorii poprzez inżynierię struktury pasmowej przy pomocy periodycznie modulowanego potencjału.*
- *Wyjaśnienie wpływu termicznie wywołanych naprężeń w grafenie na własności transportowe. Eksperymentalna i teoretyczna obserwacja złamania degeneracji dolinowej poziomów Landaua przez obecność pól pseudomagnetycznych stanowi krok w rozwoju urządzeń opartych na dolinowym stopniu swobody.*

Zaproponowane teoretycznie rozwiązania [H3 – H5] mogą znaleźć zastosowanie w projektowaniu urządzeń elektronicznych opartych na transporcie balistycznym, z trajektoriami kontrolowanymi elektrostatycznie i magnetycznie, a praca [H1] w rozwoju urządzeń spintronicznych. Obliczenia w pracach [H2, H6] przyczyniły się do lepszego zrozumienia pomiarów eksperymentalnych w grafenie w obecności m.in. naprężeń oraz międzywarstwowego oddziaływania elektrostatycznego. Badane układy, szczególnie w pracach [H2 – H6], były możliwie zbliżone do realistycznych próbek pod względem rozmiarów i elektrostatyki. Przedstawiony cykl prac stanowi krok w rozwoju metod manipulacji spinem, doliną i ładunkiem fermionów Diraca.

Jako recenzent nie mam wątpliwości, że jest to wystarczająca podstawa merytoryczna do uznania tej pracy za spełniającą kryteria osiągnięcia naukowego mogącego stanowić podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Ocena pozostałych osiągnięć naukowych dr inż. Aliny Mreńca-Kolasińskiej

Pozostałe prace naukowo-badawcze w moim dorobku można pogrupować w trzy główne kategorie:

- (i) *badania dotyczące mikroskopii bramki skanującej, funkcji pozycji naładowanego ostrza. Interpretacja map konduktancji pozwala w niektórych warunkach na powiązanie z rozkładem gęstości elektronowej lub gęstości prądu w układzie. Mapy przewodności w funkcji położenia ostrza pozwoliły na obrazowanie w 2DEG w półprzewodnikach III-V rozgałęzionego przepływu prądu czy rozpraszania na defektach. W grafenie wykorzystano tę technikę do obrazowania soczewkowania magnetycznego oraz transportu w reżimie Halla. Zastosowania związane z obrazowaniem własności układów zostały zbadane w pracach [P1-P5].*

(ii) badania transportu kwantowego w układach ograniczonych. Powyższe prace dotyczą transportu kwantowego w układach, w których ruch nośników ładunku jest ograniczony przestrzennie, m.in. w kwantowych kontaktach punktowych, pierścieniach kwantowych i quasi-jednowymiarowych kanałach uformowanych na złączach n-p lub na linii zmiany znaku przerwy energetycznej pod wpływem pola elektrycznego. Spośród tych badań, za szczególnie istotne uważam następujące wyniki. Jak wcześniej wspomniano, w grafenie zewnętrzne bramki nie zubażają gazu elektronowego, lecz indukują w nim złącza n-p. W wysokim polu magnetycznym złącza służą jako kanały, wzdłuż których przepływa prąd. Pozwala to na uwięzienie nośników ładunku na określonych elektrostatycznie złączach i wytworzenie przewężeń na wzór QPC w wysokim polu magnetycznym. Tę ideę zastosowano w pracy eksperymentalno-teoretycznej [P14]. Uformowane w układzie elektrostatycznie złącza kierowały stany brzegowe wzdłuż krawędzi lub do przewężenia, gdzie dochodziło do ich ekwilibracji. W efekcie pojawia się ułamkowa kwantyzacja oporu, w dobrej zgodności z przeprowadzonymi przeze mnie obliczeniami transportu oraz wyprowadzonymi wzorami na opór. Wyniki te wskazują możliwości kontroli trajektorii prądów w grafenie oraz ich rozpraszania i mieszania.

(iii) badania stanów elektronowych, dziurowych i ekscytonowych związanych w kropkach kwantowych na bazie materiałów i heterostruktur dwuwymiarowych. Powyższe prace dotyczyły teoretycznych badań stanów elektronowych, dziurowych i ekscytonowych w kropkach kwantowych na bazie heterostruktur półprzewodnikowych i materiałów dwuwymiarowych. Układy te, zwane także sztucznymi atomami lub molekułami, są do tej pory intensywnie badane ze względu na potencjał zastosowań w wytworzeniu qubitów. Praca [P20] pokazała, jak zależność energii rekombinacji kompleksów ekscytonowych związanych w półprzewodnikowych kropkach kwantowych od pola elektrycznego powiązana jest ze stosunkiem energii oddziaływania i energii uwięzienia. Praca [P24] dotyczyła obliczeń stanów związanych w kropkach kwantowych opartych na materiałach o strukturze grafenu z pominięciem problemu podwojenia fermionowego, a praca [P25] – optymalizacji obliczeń stanów wieloelektronowych związanych w kropkach kwantowych w heterostrukturach półprzewodnikowych. Uzyskane wyniki stanowią demonstrację możliwości elektrycznej kontroli ładunku w stanach związanych w kropkach kwantowych na bazie układów dwuwymiarowych. Prace opublikowane przed 09.2017 r. powstały w okresie przed uzyskaniem stopnia doktora.

Ocena dorobku dydaktycznego i organizacyjnego dr inż. Aliny Mreńcy-Kolasińskiej

Działalność organizacyjna

Członek Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH (od 2024).

Prowadzenie zajęć dydaktycznych

Od pierwszego roku studiów doktoranckich Habilitantka była zaangażowana w prowadzenie zajęć dydaktycznych w wymiarze 60 godzin lekcyjnych rocznie. Prowadzone przez habilitantkę zajęcia obejmowały zajęcia laboratoryjne z Inżynierskich Metod Numerycznych I, Inżynierskich Metod Numerycznych II oraz Metod Numerycznych dla kierunku Informatyka Stosowana na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej. Od czasu objęcia stanowiska asystenta badawczo-dydaktycznego w 2018 roku habilitantka prowadziła, poza powyższymi, także zajęcia laboratoryjne „System Operacyjny Unix” przez 1 rok oraz przez 3 lata Podstawy Programowania Obiektowego i Programowanie Obiektowe I dla kierunku Informatyka Stosowana (z przerwą na czas stażu podoktorskiego).

Po zakończeniu stażu podoktorskiego, prowadzone od 2022 do dziś zajęcia przez habilitantkę obejmowały laboratoria z Metod Obliczeniowych Fizyki i Techniki II oraz Komputerowe Symulacje Układów Nano- i Mezoskopowych (wykłady i zajęcia laboratoryjne), a od 2024 z Metod Obliczeniowych Fizyki i Techniki I (zajęcia projektowe) dla kierunku Fizyka Techniczna na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej. Od roku 2023 prowadziła także wykłady z Inżynierskich Metod Numerycznych I oraz Inżynierskich Metod Numerycznych II. Od 2025 habilitantka prowadziła zajęcia laboratoryjne i projektowe w języku angielskim pt. Simulations of quantum transport in nanoscopic systems dla kierunku Nanoinżynieria Materiałów na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki. Spośród wyżej wymienionych zajęć dydaktycznych habilitantka jest współautorką kursów Komputerowe Symulacje Układów Nano i Mezoskopowych oraz Simulations of quantum transport in nanoscopic systems. Ponadto podczas jej pobytu na National Cheng Kung University przez jeden semestr pełniła funkcję asystenta dydaktycznego w kursie Solid State Physics II.

Opieka naukowa nad studentami

Podczas swojej pracy naukowej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej habilitantka sprawowała opiekę naukową nad wieloma studentami. W przedłożonej dokumentacji pani przedstawiła szczegółową listę projektów wykonanych pod Jej opieką:

Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Podczas studiów doktoranckich na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, habilitantka realizowała projekt pt. „Mikroskopia rezonansowa transportu kwantowego w grafenie” jako beneficjentka programu Etiuda 3. W ramach tego projektu w październiku 2015 rozpoczęłam półroczny staż naukowy w grupie dr. Stefana Heuna w Laboratorio NEST (National Enterprise for nanoScience and nanoTechnology) działającym przy Scuola Normale Superiore w Pizie (Włochy). Prowadzone przez tę grupę badania eksperymentalne obejmowały m.in. transport w układach dwuwymiarowych i mikroskopię bramki skanującej, powiązane z tematyką mojej pracy doktorskiej. Zasadniczym celem wyjazdu było prowadzenie modelowania komputerowego do wykonywanych w laboratorium pomiarów. Efektem współpracy były prace teoretyczno-eksperymentalne [P9] i [P14], w których jest drugim autorem, lecz pierwszym spośród teoretyków, a także praca teoretyczna [P6]. Po ukończeniu studiów doktoranckich, 1 października 2020 habilitantka rozpoczęła staż podoktorski w grupie prof. Ming-Hao Liu w NCKU (National Cheng Kung University) w Tainanie (Tajwan), trwający do 30 czerwca 2022 w ramach projektu Quantum Transport in Graphene and Graphene Superlattices finansowanego przez Ministry of Science and Technology (MOST) na Tajwanie. W tym czasie zajmowała się badaniami dotyczącymi transportu w dwu- i wielowarstwowym grafenie skręconym pod dużym kątem oraz w supersieciach na bazie grafenu. W tym czasie opublikowane zostały prace [H2] i [H3].

W maju 2025 habilitantka została beneficjentką programu Sonata 20. Realizowany projekt pt. Transport w supersieciach i strukturach moiré w materiałach dwuwymiarowych obejmuje badania transportu w supersieciach wytworzonych w grafenie elektrostatycznie lub poprzez składanie skręconych względem siebie warstw grafenu lub innych materiałów dwuwymiarowych.

Konkluzja

Wszystkie podane powyżej okoliczności pozwalają na stwierdzenie że pani dr Alina Mrenca-Kolasińska uzyskała wartościowe wyniki w swojej pracy habilitacyjnej oraz posiada bardzo dobre przygotowanie do samodzielnej pracy naukowej. Jest ona wyróżniającą się specjalistką w zakresie silnie skorelowanych układów niskowymiarowych. Należy również podkreślić, że szereg otrzymanych przez nią wyników naukowych może mieć zastosowanie praktyczne w technologii układów elektronicznych.

Biorąc pod uwagę zamieszczoną wyżej ocenę osiągnięcia naukowego w postaci pozostałego dorobku naukowego oraz dydaktycznego i organizacyjnego, stwierdzam, że Pani dr Alina Mrenca-Kolasińska spełnia na poziomie wystarczającym warunki do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie Nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne określonych w Art.219 ust. 1 pkt 2 Ust. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z 20.07.2018 Dz.U.2018 poz. 1668 z pozn.zm.

W związku z powyższym wnoszę do Komisji habilitacyjnej o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego dr Aliny Mreńcy-Kolasińskiej oraz do Rady Wydziału o podjęcie uchwały o nadaniu jej stopnia Naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'T. Kopec', written in a cursive style.

Prof. dr hab. Tadeusz K. Kopec